

Das Berliner Wissenschaftsnetz BRAIN

Dipl. Math. Hubert Busch, Dipl. Math. Ursula Droebes, Dipl. Inf. Marek Fröhlich

Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB)

Takustr. 7

14195 Berlin-Dahlem

busch@zib.de

droebes@zib.de

froehlich@zib.de

Abstract: Berlin als Stadtstaat ist Kommune und Land der Bundesrepublik zugleich und Standort vieler renommierter Wissenschafts- und Kultureinrichtungen. Gemeinsam mit den Behörden Berlins haben die Wissenschaftseinrichtungen seit dem Jahr 1993 ein eigenes Glasfasernetz errichtet, welches die Wissenschafts- und Kultureinrichtungen auf ca. 1900 km Glasfaser untereinander verbindet. Derzeit betreibt BRAIN auf diesem Glasfasernetz ein auf MPLS-Technik basierendes Gigabit-Ethernet-Netz mit den Diensten LAN-to-LAN-Kopplung der Einrichtungen, regionaler IP-Verkehr, Übergang zum Verwaltungsnetz und WiN-Backup. Zusätzlich nutzt der DFN-Verein die BRAIN-Struktur im X-WiN-Netz.

1. Grundlagen

1.1 Entwicklung des Berliner Wissenschaftsnetzes

Bereits 1975 wurde mit Bereitstellung von damals schnellen Datenleitungen (9,6 kbit/s) zwischen West-Berliner Einrichtungen mit in Berlin entwickelten Netzdiensten und -protokollen ein erstes "Berliner Wissenschaftsnetz" installiert. Im Jahr 1991 wurde auf Vorschlag der drei Universitäten und des ZIB vom Senator für Wissenschaft und Forschung eine Berliner MAN-Planungsgruppe (später BRAIN-Planungsgruppe) ins Leben gerufen mit dem Ziel, ein Berliner Breitbandnetz für die Wissenschaft zu planen und zu realisieren.

Nach ersten wenig erfolgversprechenden Gesprächen mit der Deutschen Telekom bahnte sich eine enge Zusammenarbeit mit dem (damaligen) Berliner Landesbetrieb für Informationstechnik (LIT), heute IT-Dienstleistungszentrum Berlin (ITDZ), der für die Informationstechnik in den Berliner Verwaltungen zuständigen Einrichtung, an. Der LIT realisierte zu jener Zeit den Aufbau eines eigenen Glasfasernetzes für die Berliner Verwaltungen. Hierzu wurden vorhandene Kabeltrassen der Berliner Feuerwehr im öffentlichen Straßenland genutzt, so konnte das Glasfaser-Kabelnetz kostengünstig weitgehend ohne aufwändige Tiefbaumaßnahmen erstellt werden.

Mitte 1993 kamen die Vertreter von Wissenschaft und Verwaltung überein, die Planung beider Netze zu koordinieren und das vom LIT errichtete Kabelnetz gemeinsam zu finanzieren und zu nutzen, lediglich die einzelnen Glasfasern separat der Wissenschaft bzw. der Verwaltung zuzuordnen. Die ersten Strecken zwischen den Universitäten und dem ZIB konnten bereits 1994 in einen Vorlaufbetrieb genommen werden. Der offizielle Start des Berliner Wissenschaftsnetzes **BRAIN (Berlin Research Area Information Network)** erfolgte im gleichen Jahr, als durch einen Beschluss des Senats von Berlin die Nutzung des landeseigenen Glasfasernetzes durch die Wissenschaftseinrichtungen festgeschrieben wurde. 1995 wurden die ersten sieben Anschlüsse in ATM-Technik im Rahmen des vom DFN-Verein mitfinanzierten Projekts „Regionales Testbed Berlin“ vollständig in Betrieb genommen. [1]

Eine weitere Etappenstufe wurde im März 1999 erreicht, als BRAIN bereits 50 Wissenschaftsstandorte untereinander verband und der „Lückenschluss“ zum Potsdamer MAN (PMAN) mit seinen 15 Wissenschaftsstandorten, welches im Jahr 1997 nach Berliner Vorbild entstand, hergestellt wurde.

Ergänzend zum ATM-Netz wurden anschließend auch erste Strecken in Fast-Ethernet-Technik betrieben. Im Jahr 2003 erreichte dieses Berliner Wissenschaftsnetz mit 15 beteiligten Einrichtungen an über 30 Standorten seine größte Ausdehnung. Dieses heterogene Netz mit unterschiedlichen Netzgeräten wurde dezentral von den Netzadministratoren der beteiligten Einrichtungen nach globalen Absprachen betreut und ließ sich nicht mehr erweitern.

Basierend auf den vorliegenden Erfahrungen vereinbarten die Berliner Wissenschaftseinrichtungen, ein technisch neues Verbundnetz in Gigabit-Ethernet-Technik mit einheitlichen Geräten und einem zentralen Netzwerkmanagement aufzubauen und zu betreiben. Technik und Dienste dieses BRAIN-Verbundnetzes sind in Abschnitt 3 detailliert aufgeführt.

1.2 BRAIN heute

Mit Stand April 2006 hat das landeseigene Glasfasernetz eine Länge von ca. 800 km und verbindet insgesamt 390 Standorte über dedizierte Glasfaserkabel. Jedes Kabel verfügt in der Regel über 10-50 Einzelfasern – teilweise auch bis zu 144 Einzelfasern. Das Wissenschaftsnetz nutzt hiervon 445 km Glasfaserkabel mit 324 km Einzelfasern und 779 km Doppelfasern. Unter Verwendung von weiteren ca. 110 km Glasfasern einzelner Einrichtungen verbindet BRAIN insgesamt 42 Einrichtungen aus Wissenschaft, Bildung und Kultur an 129 Standorten.

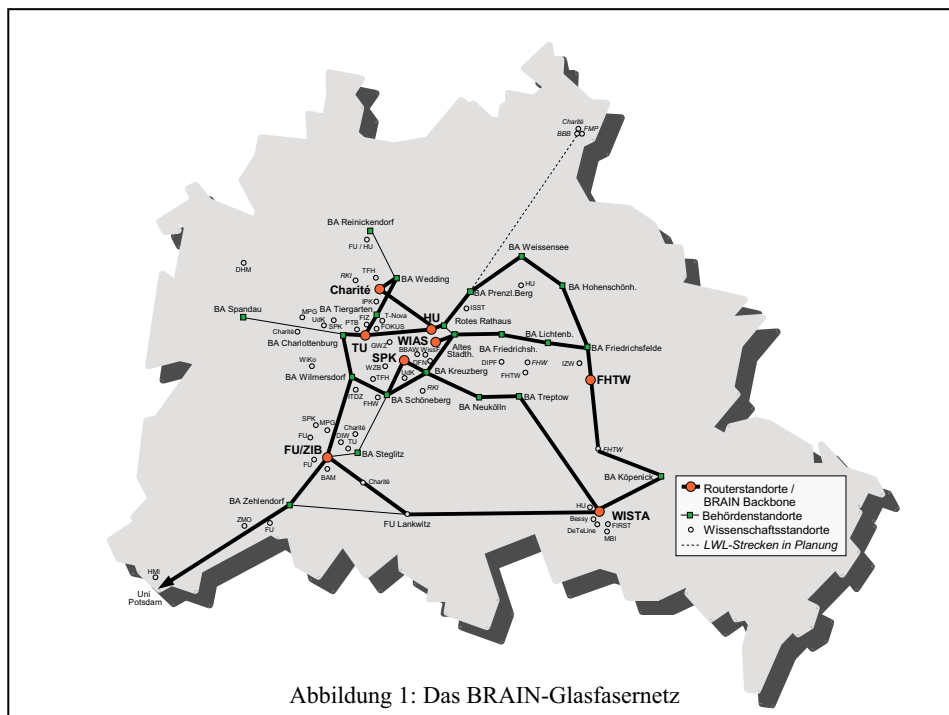


Abbildung 1: Das BRAIN-Glasfasernetz

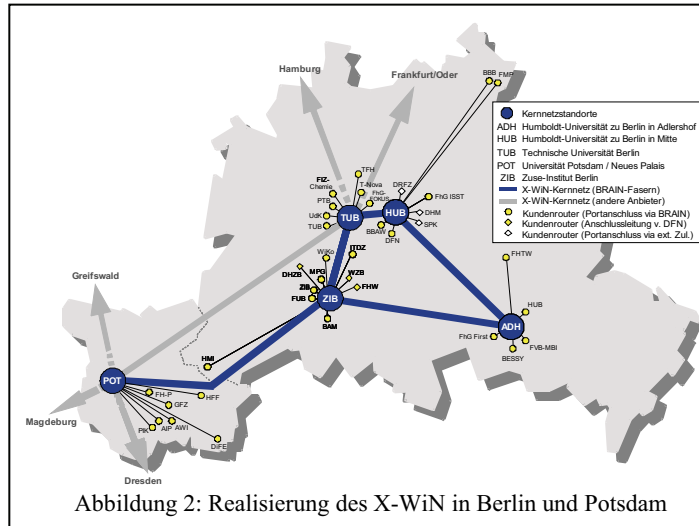
Die auf dem Glasfasernetz von BRAIN angebotenen Dienste und die jeweils verwendete Technik werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

2. Realisierung des X-WiN in Berlin

Bereits im Jahr 1994 vereinbarten der DFN-Verein und die wissenschaftlichen Einrichtungen in Berlin unter Federführung des ZIB, die entstehende Leitungsstruktur von BRAIN zur Förderung der Nutzung des Deutschen Forschungsnetzes (S-WiN, B-WiN, G-WiN) zum Vorteil aller Beteiligten zu nutzen.

Im vierten Quartal 2005 wurde das X-WiN-Kernnetz auch in der Region Berlin/Potsdam in Betrieb genommen. Das Berliner Wissenschaftsnetz BRAIN bzw. die Universität Potsdam stellen dem DFN-Verein hierfür ca. 120 km Doppelfaser gegen Entgelt zur Verfügung. Für die überregionalen Verbindungen, die über die Technische Universität Berlin nach Hamburg und Frankfurt (Oder) und über die Universität Potsdam nach Magdeburg, Dresden und Greifswald erfolgen, sowie für die direkte Verbindung dieser beiden Kernnetzstandorte hat der DFN-Verein Glasfaserverbindungen von den Leitungsanbietern GasLine bzw. KPN angemietet (siehe Abbildung 2).

Derzeit hat der DFN-Verein in der Region mehr als 30 Wissenschaftseinrichtungen über weitere 150 km Doppelfaser von BRAIN bzw. des Potsdamer MAN sowie zwei Einrichtungen über STM1-



Verbindungen über STM1-Verbindungen per WDM auf einer 35 km langen Einzelfaser an die fünf Kernnetz-knoten in Berlin und Potsdam angebunden.

Weitere sechs Wissenschaftseinrichtungen in Berlin mit Anforderungen an die Bandbreite bis zu 10 Mbit/s nehmen am X-WiN auf der Basis des „Portmodells“ teil.

3. Das BRAIN -Verbundnetz

Die bedeutende Dienstleistung im Berliner Wissenschaftsnetz ist das BRAIN-Verbundnetz in Gigabit-Ethernet-Technik. Anfang 2003 wurde mit der Planung eines Verbundnetzes für die BRAIN-Teilnehmer begonnen. Nach intensiven Gesprächen und einer Diskussionsveranstaltung mit den (zukünftigen) Nutzern wurden die Anforderungen an das aufzubauende Verbundnetz formuliert:

- Die Verbindung der Standorte einer Einrichtung erfolgt mit hoher Bandbreite.
- Die Teilnehmer-Anschlüsse werden in Ethernet-Technik realisiert.
- Die Einrichtungen können eigene VLAN-Strukturen standortübergreifend einrichten.
- Jeder BRAIN-Router verfügt über mindestens eine redundante Verbindung innerhalb des Kernnetzes.
- Ausfälle im Kernnetz werden automatisch erkannt und durch geeignete Maßnahmen kompensiert.
- Einrichtungsübergreifender Datenaustausch soll mit hoher Bandbreite möglich sein.
- Einsatz preiswerter Technik, Kostenvorteile werden an die Anwender weitergegeben.
- Die geschäftliche und technische Administration des Verbundnetzes erfolgt zentral.

Basierend auf diesen Anforderungen erfolgte eine europaweite Ausschreibung für die Beschaffung von Gigabit-Ethernet-Routern mit MPLS¹-Unterstützung. Bei der Auswahl der Geräte wurde großer Wert auf die Einhaltung offener Standards und Drafts der MPLS-Working-Groups gelegt. Wichtig war auch die Unterstützung aller MPLS-Funktionalitäten in der Hardware durch entsprechende ASICs² auf den Linecards. Den Zuschlag erhielt der DFN-Verein, der in Kooperation mit T-Systems Technik der Firma Riverstone-Networks anbot. Es wurden insgesamt zehn Netzknoten vom Typ RS8000 beschafft und an acht unterschiedlichen wissenschaftlichen Standorten in der Stadt installiert.

Diese Knoten sind durch einen Ring mit zusätzlichen Querverbindungen verbunden (Abbildung 3). Die Router verfügen über Slots zur Aufnahme von Modulen mit Gigabit-Ethernet-(GE-)Ports bzw. Modulen mit Fast-Ethernet-(FE-)Ports. Alle Ports (GE und FE) sind mit optischen Transceivern für den Anschluss von Multimode- oder Singlemode-LWL bestückbar. Zur Erhöhung der Ausfallsicherheit kann jeder Router zusätzlich mit einem zweiten Control-Modul ausgestattet werden.

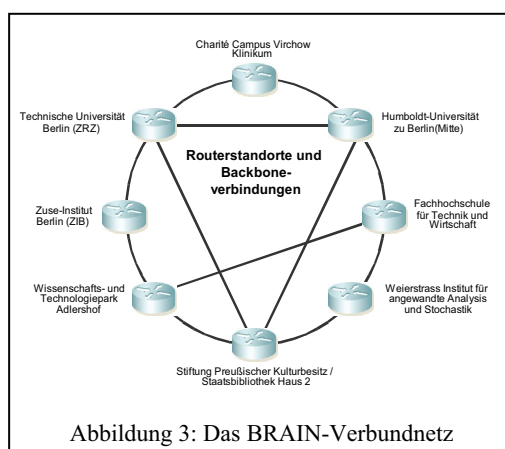


Abbildung 3: Das BRAIN-Verbundnetz

Vorläufernetz komplett ab. Insgesamt nutzen derzeit 22 Einrichtungen an 45 in der Stadt verteilten Standorten die Dienste des BRAIN-Verbundnetzes, 13 Standorte sind über 1000 Mbit/s- und 32 Standorte über 100 Mbit/s angeschlossen.

3.1. Technik des Verbundnetzes

Als Transport-Protokoll im Kernnetz wird MPLS eingesetzt, BRAIN betreibt somit seit 2003 das erste nicht-kommerzielle Ethernet-Stadtnetz auf MPLS-Basis in Deutschland und eines der ersten in Europa. Der Einsatz von MPLS ermöglicht unter anderem:

- LAN-to-LAN-Kopplung auf Layer2-Ebene

¹ MPLS (Multiprotokoll-Label-Switching): Verfahren zum Transport von Datenpaketen über zuvor konfigurierte Pfade. Der Pfad wird anhand des Labels im MPLS-Header des Datenpaketes ausgewählt.

² ASICs (Application Specific Integrated Circuit): Integrierte Schaltkreise für spezielle Aufgaben, in der Regel nur eingeschränkt zur Laufzeit programmierbar, dafür verfügen sie über eine wesentlich höhere Ausführungsgeschwindigkeit als vergleichbare Softwareprogramme, die von Mikroprozessoren interpretiert und ausgeführt werden.

- Schnelles Umschalten aller Netzverbindungen auf alternative Pfade bei Leitungsstörungen
- Gezieltes Lenken der Verkehrsströme durch das Kernnetz, ggf. mit Bandbreitenreservierung

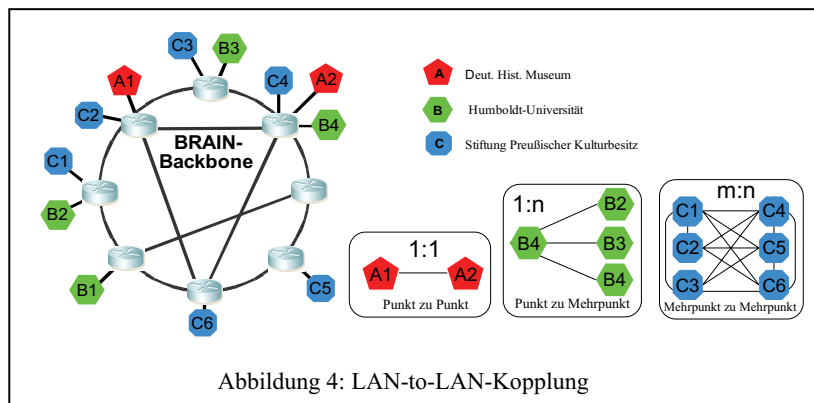
MPLS bietet die aus der ATM-Welt bekannten Features „Zusicherung einer Dienstgüte“ (Quality of Service, QoS) und „Verkehrsflusssteuerung“ (Traffic-Engineering), allerdings mit einem wesentlich geringeren Verwaltungsaufwand als bei ATM. Der Administrator definiert lediglich Anfangs- und Endpunkt einer zu konfigurierenden Verbindung durch das Kernnetz, sowie ggf. QoS-Merkmale und zugesicherte Bandbreite. Durch den Einsatz von Signalisierungsprotokollen wird anschließend automatisch ein entsprechender Pfad durch den Backbone generiert und an die Router signalisiert. Dieser Pfad kann dann für Layer2- oder Layer3-Dienste genutzt werden.

MPLS verwendet einen eigenen Header, der in den Datenframe zwischen dem Layer2-Header und dem Layer3-Header eingefügt wird. Diese Kapselung des Layer3-Headers ermöglicht den Transport vielfältiger Datenarten, z. B. Telefonverkehr oder IP-Pakete. [2, 3]

3.2. Konkreter Einsatz der MPLS-Technik zum Nutzen der Anwender

LAN-to-LAN-Kopplung der Standorte von Wissenschaftseinrichtungen

Im Rahmen ihrer Anbindung wird für jede Einrichtung ein eigenes Layer2-VPN (Virtual-Private-Network) aufgespannt. Dieses Layer2-VPN verbindet die entfernten Standorte



einer Einrichtung zu einem LAN, welches von den Teilnehmern mit eigenen VLANs segmentiert werden kann. In Abbildung 4 sind die zur Zeit im BRAIN realisierten LAN-to-LAN-Kopplungen für ausgewählte Einrichtungen schematisch dargestellt.

Durch die Möglichkeit der Weiterleitung beliebiger Ethernetframes durch das Verbundnetz erscheint das BRAIN-Kernnetz für die Administratoren der Netzgeräte in den Ein-

richtungen transparent. Somit können Änderungen in der VLAN- oder IP-Struktur einer Einrichtung selbstständig durch deren Administratoren und ohne Absprache mit dem zentralen BRAIN-Netzwerkmanagement erfolgen.

Fast-Reroute im Kernnetz

Die Ringstruktur sowie die zusätzlichen Querverbindungen sorgen für Redundanz im Kernnetz. Die Eigenschaft „Fast-Reroute“ wird im BRAIN eingesetzt, um im Fall von Leitungsunterbrechungen im Kernnetz die darüber laufenden MPLS-Tunnel auf Alternativ-Pfade umzuschwenken. Da die Alternativ-Pfade beim Aufbau eines MPLS-Tunnels automatisch signalisiert werden, können bei einer Leitungsstörung die bestehenden Verbindungen in ca. 50 - 100 ms auf die Backup-Tunnel geschwenkt werden, ohne die laufenden Anwendungen einer Einrichtung zu unterbrechen. Ein Suchen nach einer alternativen Route, wie bei IP, findet nicht statt. Durch den Einsatz dieser Technik sind Unterbrechungen einzelner Kernnetz-Verbindungen für den Nutzer nicht spürbar.

Quality of Service / Class of Service

Für den Einsatz bestimmter Dienste, wie z. B. Voice-over-IP (VoIP), werden besondere Qualitätsanforderungen (z. B. niedrige Latenz und Jitter, geringe Verlustrate, hoher Durchsatz) an das Netz gestellt. Dies wird bei MPLS durch die sog. Class-of-Services (CoS) erreicht, mit denen die aus der ATM-Welt bekannten Quality-of-Services (QoS) umgesetzt werden. Auf diese Weise können QoS-fähige Endgeräte der BRAIN-Teilnehmer über das Kernnetz unter Beibehaltung aller Dienstgütemerkmale miteinander kommunizieren, eine Voraussetzung für VoIP. VoIP wird im BRAIN-Verbundnetz bereits von zwei Einrichtungen an insgesamt 9 Standorten genutzt. [2, 3]

3.3. Einrichtungübergreifender Verkehr über das Verbundnetz

Alle am BRAIN-Verbundnetz angeschlossenen Einrichtungen können über ihren Anschluss Daten über IP mit anderen am BRAIN-Verbundnetz angeschlossenen Einrichtungen austauschen. Voraussetzung ist eine bestehende BGP-Session (BGP-4³) zwischen dem jeweiligen BRAIN-Kernnetzrouter und dem Router der Einrichtung. Über diese BGP-Session tauschen die Partner Peering-Informationen aus, sowohl die jeweilige Einrichtung annonciert an BRAIN ihre eigenen IP-Netze (ausgenommen die nicht routebaren Netze nach RFC 1918) als auch BRAIN annonciert der Einrichtung alle ihm bekannten Netze.

Auf dem Router der Einrichtung existieren nun neben der Default-Route zum WiN-Interface weitere Routen direkt zu den jeweiligen Netzen anderer Berliner Einrichtungen. Diese Routen werden gegenüber der Default-Route bevorzugt - der Berlin-interne Verkehr geht durchs BRAIN und entlastet das WiN-Interface der Einrichtung.

³ BGP-4: Border Gateway Protocol, Protokoll zwischen Routern zur Festlegung der Wegewahl

Als weitere Möglichkeit des Datenaustausches lassen sich zwischen den Standorten unterschiedlicher Einrichtungen VLANs durch das Verbundnetz koppeln. Dazu wird mit Hilfe von MPLS ein Label-Switched-Path (LSP) von einem Standort zum anderen Standort eingerichtet. Dieser LSP (vergleichbar mit einem ATM-PVC) transportiert ein oder mehrere VLANs zwischen verschiedenen Einrichtungen. Dafür ist eine Abstimmung zwischen den beteiligten BRAIN-Teilnehmern und dem Netzwerkmanagement notwendig. Dieser Dienst wird aktuell von drei Einrichtungen in Anspruch genommen.

3.4. WiN-Backup über BRAIN

Die Anbindung einzelner Wissenschaftseinrichtungen an das X-WiN des DFN-Vereins über die BRAIN-Infrastruktur ist in Abschnitt 2 beschrieben. Da die Mehrzahl der Einrichtungen den internationalen IP-Verkehr ausschließlich über den DFN-Verein abwi-

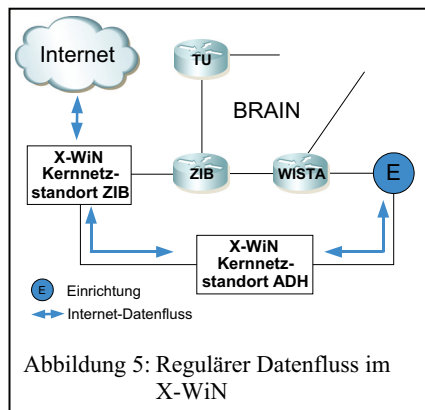


Abbildung 5: Regulärer Datenfluss im X-WiN

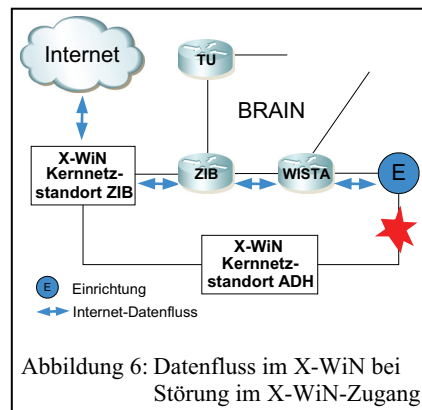


Abbildung 6: Datenfluss im X-WiN bei Störung im X-WiN-Zugang

ckelt, ist ein störungsfreier Betrieb außerordentlich wichtig. Für die Einrichtungen, die auch über einen Anschluss am BRAIN-Verbundnetz verfügen, bietet sich hier eine kostengünstige Ausfallsicherung an.

Im Normalfall gelangt der Internet-Verkehr einer Einrichtung über eine dedizierte Zuleitung zum nächsten DFN-Kernnetz-knoten, von dort ab sind die Übertragungsstrecken seitens des DFN-Vereins redundant ausgelegt. In Abbildung 5 ist der reguläre Datenfluss am Beispiel einer Einrichtung in Berlin-Adlershof (Knoten ADH) dargestellt.

Kommt es zu einer Unterbrechung des IP-Verkehrs über den Standardzugangsweg, kann die Anbindung über das BRAIN-Verbundnetz, die über separate Leitungen und separate Technik geführt wird, als Ersatz genutzt werden. Der BRAIN-Knoten im ZIB ist mit dem DFN-Kernnetz-knoten im ZIB über eine Gigabit-Ethernet-Verbindung verbunden, über die der Datenverkehr dann geführt wird (Abbildung 6). Durch den Einsatz von BGP-4 erfolgt die Veränderung der Routen sowohl auf Seiten des Anwenders als auch im DFN-Netz vollständig automatisch innerhalb von Sekunden – schneller, als die Unterbrechung vom Anwender normalerweise zur Kenntnis genommen wird.

Der Dienst „WiN-Backup über BRAIN“ wird von der Mehrzahl der BRAIN-Teilnehmer genutzt, sehr erfolgreich war er während der Zeit der Umstellung vom G-WiN zum X-WiN im Zusammenhang mit dem Einsatz neuer Zugangstechnik bei den Anwendern.

3.5. Übergang zum Verwaltungsnetz

Obwohl, wie in Abschnitt 1 ausgeführt, das Wissenschaftsnetz BRAIN und das Berliner Verwaltungsnetz das selbe Glasfaserkabelnetz nutzen, werden für die Nutzung der Netze unterschiedliche Organisationsformen und unterschiedliche Netzprotokolle verwendet. Innerhalb des Verwaltungsnetzes betreibt das ITDZ ein Intranet mit einer Reihe von Dienstleistungen, die auch für die Hochschulverwaltungen interessant sind. Die Universitäten und Fachhochschulen Berlins verfügen nicht über eigene Anschlüsse an das Verwaltungsnetz, daher haben die Verwaltungen der Hochschulen zunächst keinen Zugriff zu den Daten innerhalb des Verwaltungsnetzes.

Im Rahmen von BRAIN wird im ZIB ein Übergang zwischen dem Wissenschaftsnetz und dem Verwaltungsnetz betrieben, der auch den hohen Sicherheitsanforderungen der Verwaltungen genügt. Die Vergabe der Berechtigung zum Zugang erfolgt nur an registrierte Personen und an registrierte IP-Adressen der Hochschulverwaltungen, die verwendeten Rechner und Subnetze müssen gewissen zusätzlichen Kriterien zur Sicherheit genügen.

Der Dienst „Übergang zum Verwaltungsnetz“ besteht seit 2002 und wird von allen am BRAIN angeschlossenen Universitäten und Fachhochschulen genutzt.

4. Einsatz von Multiplex-Techniken

BRAIN setzt derzeit auf sechs Strecken WDM⁴-Technik für den Transport von Gigabit-Ethernet, Fast-Ethernet, ATM und SDH über eine einzelne LWL ein. Bei den aktiven Komponenten handelt es sich um Geräte der Serie TS1100 des schwedischen Herstellers Transmode. Die Geräte, die zentral von BRAIN betrieben werden, multiplexen bis zu acht Gigabit-Ethernet-, ATM-, SDH- oder Fibre-Channel-Anwendungen über eine einzige Glasfaser. Auf diese Weise wurden Engpässe im Glasfasernetz behoben und Glasfaser-Strecken eingespart. Der modulare Aufbau der Geräte ermöglicht künftige Erweiterungen. Im derzeitigen Ausbau können pro Wellenlänge Bandbreiten bis zu 2,5 Gbit/s übertragen werden.

Anstatt eine Wellenlänge nur für eine Anwendung zu nutzen, lassen sich mit Hilfe von TDM⁵-Modulen mehrere Anwendungen über eine Wellenlänge übertragen. Die Daten der unterschiedlichen Anwendungen werden zeitlich versetzt auf die Trägerwelle (entspricht einem 2,5 Gbit/s optischen Kanal) moduliert. Beispielsweise werden auf einer

⁴ WDM: Wavelength Division Multiplexing, optisches Frequenzmultiplexverfahren

⁵ TDM: Time Division Multiplexing, Zeitmultiplexverfahren; die Übertragung der Daten verschiedener Anwendungen erfolgt zeitlich versetzt innerhalb eines Datenkanals.

Strecke mit Hilfe eines TDM-Moduls zwei Fast-Ethernet-Kanäle und zwei STM1-Kanäle innerhalb einer Wellenlänge (ein optischer Kanal mit 2,5 Gbit/s Bandbreite) über eine Faser übertragen.

Im BRAIN werden derzeit mit WDM-Technik Strecken in einer Gesamtlänge von 143 km Einzelfaser betrieben. Würde stattdessen für jede der im WDM-Kernnetz transportierten Anwendungen eine separate Doppelfaser geschaltet werden, ergäbe sich eine Gesamtlänge von 688 km Einzelfaser, dies entspricht einer Ersparnis von 80%. Die in Planung befindlichen Fibre-Channel-Anwendungen lassen sich im WDM-Kernnetz ohne Einsatz von zusätzlichen LWL-Strecken realisieren.

5. Organisation von BRAIN

BRAIN wird nach außen in rechtlicher und wirtschaftlicher Hinsicht treuhänderisch vom ZIB vertreten. Für die Realisierung der Aufgaben von BRAIN werden 2,5 Mitarbeiterstellen im ZIB aus Erlösen des BRAIN finanziert. Die wesentlichen Komponenten der einfachen Organisationsstruktur von BRAIN sind in den folgenden Abschnitten aufgeführt.

5.1. Die BRAIN-Planungsgruppe

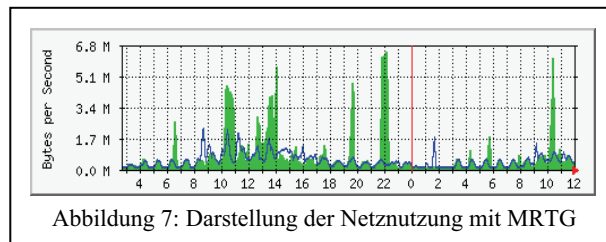
Die BRAIN-Planungsgruppe besteht aus vier Mitgliedern der drei großen Berliner Universitäten und des ZIB. Als zentrales Planungs- und Steuerungsorgan für sämtliche standortübergreifende Netzaktivitäten der Berliner Wissenschaftseinrichtungen definiert sie u. a. Projekte, die neben dem Betrieb der regionalen Kommunikationsinfrastruktur unter Standardbedingungen mit einer hohen Produktionssicherheit auch die Erprobung neuer Techniken und Anwendungen zum Nutzen der beteiligten Einrichtungen zum Inhalt haben. Die Umsetzung der Projekte kann durch BRAIN-Mitarbeiter oder durch Vergabe an eine der beteiligten Einrichtungen erfolgen.

5.2. Die BRAIN-Geschäftsstelle

Zu den Aufgaben der BRAIN-Geschäftsstelle gehört insbesondere die Verwaltung des Glasfasernetzes, u. a. die Vergabe von Glasfaserstrecken, die Vergabe von Patchaufträgen an das ITDZ und einzelne Anwender sowie die Beauftragung neuer Strecken. Für die Verwaltung der derzeit 179 Verbindungen auf 466 Teilstrecken wird ein maßgeschneidertes Kabelmanagementsystem eingesetzt. Daneben ist die Geschäftsstelle zuständig für Ausarbeiten und Überprüfen der Verträge mit dem ITDZ (Nutzen des Glasfasernetzes), dem DFN-Verein (BRAIN als Anbieter von Glasfaser und sonstigen Datenverbindungen) und den Anwendern (Nutzen der Dienste) einschließlich der Überwachung des Geldflusses.

5.3. Zentrales Netzwerkmanagement

Sämtliche aktiven Netzkomponenten (derzeit 27 Router, Switche und WDM-Geräte) werden zentral vom ZIB administriert und einschließlich der Infrastruktur in den externen Knotenräumen überwacht. Für die Überwachung werden eigenentwickelte Programme (vorwiegend in der Programmiersprache Perl) eingesetzt, die auf UNIX-

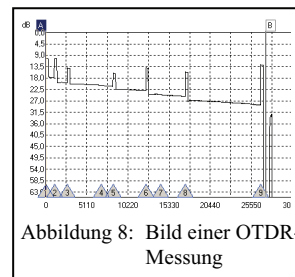


basierten Systemen lauffähig sind; als Server kommen Systeme mit Debian GNU/Linux zum Einsatz. Die grafische Aufbereitung der Netzauslastung erfolgt mit MRTG⁶. Der aktuelle Status des Gigabit-Ethernet-Kernnetzes kann über eine Webschnittstelle

(<http://www.brain.de/netzstatus>) mit allen gängigen Web-Browsern von überall eingesehen werden. Sowohl die externe als auch die interne Dokumentation werden ebenfalls über Webschnittstellen bereit gestellt.

Zu den regelmäßigen Aufgaben des zentralen BRAIN-Netzwerkmanagements gehören auch das Schalten und die Inbetriebnahme neuer Glasfaser-Verbindungen, die Fehlersuche, Fehleranalyse und ggf. Fehlerbehebung innerhalb der Anbindungen der Standorte sowie insbesondere auch die Beratung der Einrichtungen in allen Fragen der Anbindung von entfernten Standorten ans BRAIN.

Für die Fehlersuche von Glasfaserstrecken hat sich die Beschaffung eines OTDR⁷-Messgerätes bewährt. Mit Hilfe dieses Gerätes lassen sich Leitungsschäden bzw. schlechte Steckverbindungen innerhalb einer geschalteten Glasfaser-Strecke feststellen und lokalisieren.



5.4. Die Vertragsgestaltung

Alle von BRAIN angebotenen Dienste werden in einem einheitlichen Vertrag zusammengefasst, die anfallenden Investitions- und Betriebskosten werden entsprechend der Zahl der Anschlüsse, Anschlussbandbreiten und Streckenlängen auf die Teilnehmer umgelegt, wobei auch der Anteil der Grundfinanzierung für die Einrichtung durch das Land Berlin eine entscheidende Rolle spielt. Im Prinzip werden die hierfür geltenden Tarife jedes Jahr neu ermittelt, tatsächlich hat sich jedoch an den seit 2003 geltenden Tarifen bisher nichts geändert.

⁶ MRTG: Multi Router Traffic Grapher, einem einfach zu bedienenden Werkzeug zur grafischen Darstellung von Verkehrsflüssen, z. B. in Routern, <http://oss.oetiker.ch/mrtg/>

⁷ OTDR: Optical-Time-Domain-Reflectometer – Gerät zur Ermittlung und Analyse von Laufzeiten und Reflexionscharakteristika von elektromagnetischen Wellen und Signalen im Wellenbereich des Lichts

Die Kosten des Wissenschaftsnetzes BRAIN werden zum großen Teil von den Teilnehmern selbst aufgebracht. Das Land Berlin trägt pauschal die überwiegenden Kosten für die Wartung des Glasfasernetzes, soweit es vom ITDZ bereit gestellt wird. Die jährlichen Kosten für die Nutzung des BRAIN-Verbundnetzes mit allen beschriebenen Dienstleistungen (also einschließlich WiN-Backup und Zugang zum Verwaltungsnetz) betragen derzeit beispielsweise (je nach Art der Grundfinanzierung der Einrichtung durch das Land Berlin):

- 1 x 100 Mbit/s-Anschluss: 5.000 € - 8.300 € (zzgl. Ust)
- 1 x 1000 Mbit/s- und 1 x 100 Mbit/s-Anschluss: 9.800 € - 18.900 € (zzgl. Ust)

6. Fazit

Heute stellt das Wissenschaftsnetz BRAIN, basierend auf dem landeseigenen Glasfasernetz, eine unverzichtbare Basis für seine Teilnehmer dar und hilft, den Standort Berlin mit seiner Vielzahl bedeutender wissenschaftlicher und kultureller Einrichtungen zu stärken. BRAIN steht als Gemeinschaftsaufgabe allen öffentlich-rechtlichen Wissenschafts-, Kultur- und Bildungseinrichtungen mit Sitz in Berlin als kostengünstiges Breitbandnetz zur Verfügung und hat sich zur Verbesserung der Kommunikationsdienstleistungen etabliert.

Im Jahr 2006 werden weitere Einrichtungen mit deren Standorten an das BRAIN-Kernnetz angeschlossen. Eine Ausdehnung des BRAIN-Verbundnetzes nach Potsdam, d. h. die Installation eines eigenen BRAIN-Kernnetzknötens, über den sämtliche BRAIN-Dienste auch für die Potsdamer Einrichtungen zur Verfügung stehen, wird angestrebt. Die Ausnutzung des verfügbaren Kabelkontingents wird durch Einsatz zusätzlicher WDM-Technik optimiert. Die Möglichkeit zur Erhöhung der Redundanz innerhalb des Kabelnetzes bzw. die Anbindung von Standorten in noch nicht über Glasfaser erschlossenen Lagen, z. B. durch Einsatz von Funktechnik, wird geprüft. Zusätzliche Dienste, die für die Berliner Wissenschaftseinrichtungen einen Mehrwert darstellen und über die BRAIN-Infrastruktur etabliert werden können, werden evaluiert und deren Umsetzung angestrebt.

Literaturverzeichnis

- [1] Hubert Busch, Sandra Schulz, Günther Kroß: Aufbau des Berliner Breitbandnetzes für die Wissenschaft, Technical Report TR 95-5 des Konrad-Zuse-Zentrums für Informatik Berlin, 1995
- [2] Bruce Davie, Yakov Rekhter: MPLS - Technology and Applications, Morgan Kaufmann Publishers, Academic Press, 2000
- [3] Sean Hardeny: The MPLS Primer, Prentice Hall, 2002